

# EUROPEAN PATENT OFFICE

## Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 2004034256  
PUBLICATION DATE : 05-02-04

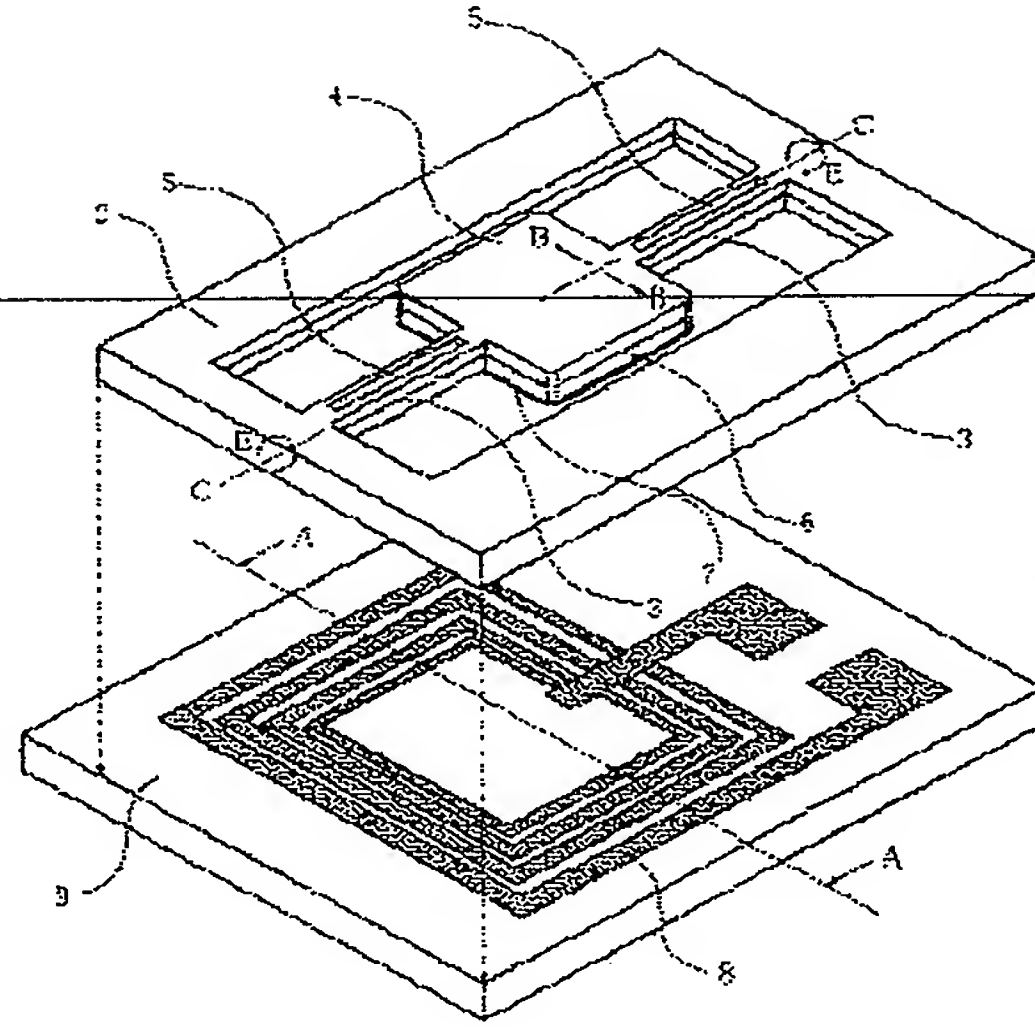
APPLICATION DATE : 05-07-02  
APPLICATION NUMBER : 2002197130

APPLICANT : CANON INC;

INVENTOR : TORASHIMA KAZUTOSHI;

INT.CL. : B81B 3/00 B81C 1/00 G02B 26/08  
G02B 26/10

TITLE : MICROSTRUCTURE AND METHOD  
FOR MANUFACTURING THE SAME



ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a microstructure which is compact despite a large angle of torsion, causes little unwanted vibration and has a long life, and also to provide a method for manufacturing such a microstructure.

SOLUTION: A movable plate is supported by an elastic supporting portion so as to torsionally vibrate against the supporting substrate on a torsion axis. A second section in which the recess is not formed is disposed at both ends of a first section in which recesses are formed, and is connected with the movable plate and the supporting substrate.

COPYRIGHT: (C)2004,JPO

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-34256

(P2004-34256A)

(43) 公開日 平成16年2月5日(2004.2.5)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

B81B 3/00  
B81C 1/00  
G02B 26/08  
G02B 26/10

F1

B81B 3/00  
B81C 1/00  
G02B 26/08  
G02B 26/10  
G02B 26/10

テーマコード (参考)

2H041  
2H045

E

C

F

審査請求 未請求 請求項の数 13 O L (全 20 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2002-197130 (P2002-197130)  
(22) 出願日 平成14年7月5日(2002.7.5)

(71) 出願人 000001007  
キヤノン株式会社  
東京都大田区下丸子3丁目30番2号  
(74) 代理人 100090538  
弁理士 西山 恵三  
(74) 代理人 100096965  
弁理士 内尾 裕一  
(72) 発明者 加藤 貴久  
東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤ  
ノン株式会社内  
(72) 発明者 虎島 和敏  
東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤ  
ノン株式会社内  
Fターム(参考) 2H041 AA14 AB14 AC05 AZ02 AZ08  
2H045 AB06 AB16 AB73

(54) 【発明の名称】 マイクロ構造体及びその製造方法

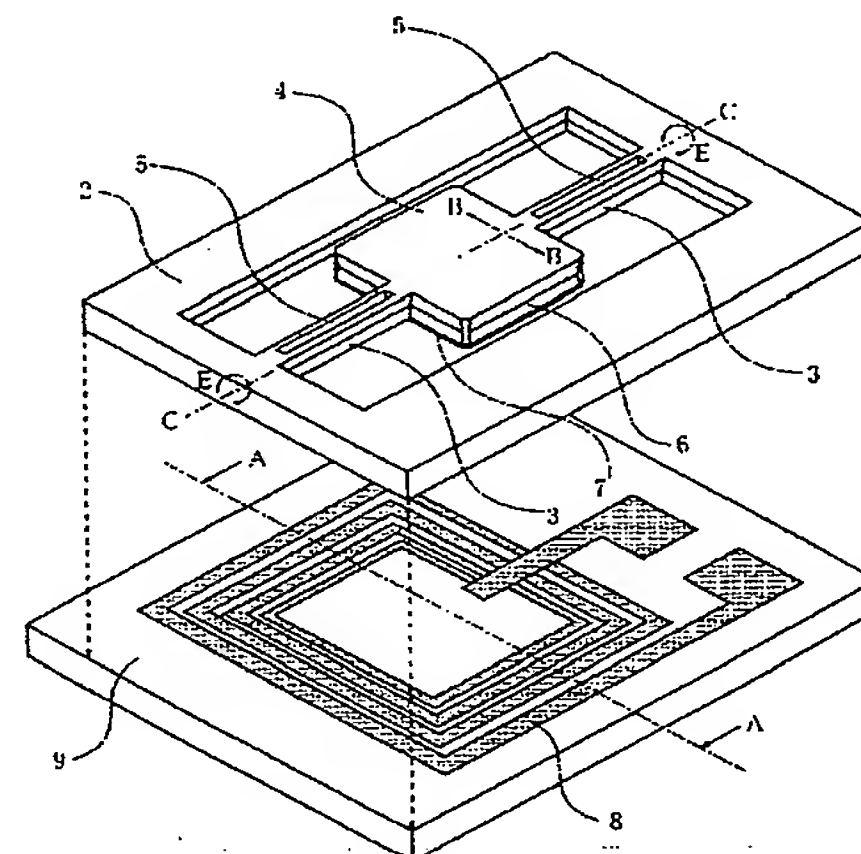
## (57) 【要約】

【課題】 大きなねじり角でも小型で、不要振動の少ない、長寿命のマイクロ構造体、及びその製造方法を提供する。

【解決手段】 可動板が弾性支持部によって前記支持基板に対して

ねじり軸を中心にねじり振動自在に支持されているマイクロ構造体であって、凹部が形成される第1の区間の両端が形成されない第2の区間を配置して構成され、第2の区間は、前記可動板、及び前記支持基板と接続していることを特徴とするマイクロ構造体を提供する。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

支持基板と可動板からなり、  
該可動板が弾性支持部によって前記支持基板に対してねじり軸を中心にねじり振動自在に支持されているマイクロ構造体であって、  
前記弾性支持部は、少なくとも 1 つ以上の凹部を有し、  
前記凹部が形成される第 1 の区間の両端に前記凹部が形成されない第 2 の区間を配置して構成され、  
該第 2 の区間は、前記可動板、及び前記支持基板と接続していることを特徴とするマイクロ構造体。

10

## 【請求項 2】

前記ねじり軸方向の長さについて、  
前記第 1 の区間の長さは前記弾性支持部の全長の少なくとも半分以上であることを特徴とする請求項 1 に記載のマイクロ構造体。

## 【請求項 3】

前記第 1 の区間は、  
前記ねじり軸方向にそって前記第 1 の区間の中央へ向かうほど、  
前記凹部の深さが大きくなる第 3 の区間を有し、  
該第 3 の区間は、前記第 2 の区間とつながっていることを特徴とする請求項 1 または 2 の何れか 1 項に記載のマイクロ構造体。

20

## 【請求項 4】

前記支持基板、弾性支持部、可動板及び凹部は、  
単結晶材料で一体に形成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載のマイクロ構造体。

## 【請求項 5】

前記単結晶材料はシリコン単結晶であることを特徴とする請求項 4 に記載のマイクロ構造体。

## 【請求項 6】

前記弾性支持部は、シリコン結晶面の (100) 等価面と (111) 等価面で構成されていることを特徴とする請求項 5 に記載のマイクロ構造体。

30

## 【請求項 7】

前記凹部はシリコン結晶面の (111) 等価面で構成されていることを特徴とする請求項 5 または 6 の何れか 1 項に記載のマイクロ構造体。

## 【請求項 8】

前記第 1 の区間は、前記ねじり軸と垂直な面について、V 或いは X 字状の断面を有していることを特徴とする請求項 1 乃至 7 の何れか 1 項に記載のマイクロ構造体。

## 【請求項 9】

請求項 1 乃至 8 いずれか 1 項に記載のマイクロ構造体と、前記支持基板と前記可動板を相対的に駆動する駆動手段と、前記可動板に形成された光を反射する反射面とからなることを特徴とするマイクロ光偏向器。

40

## 【請求項 10】

請求項 9 に記載のマイクロ光偏向器を有することを特徴とする光学機器。

## 【請求項 11】

光源と、該光源から出射された光を偏向する請求項 9 に記載のマイクロ光偏向器を少なくとも 1 つ以上配置したマイクロ光偏向器またはマイクロ光偏向器群とを具備し、該マイクロ光偏向器またはマイクロ光偏向器群により偏向された光の少なくとも一部を画像表示体上に投影することを特徴とする画像表示装置。

## 【請求項 12】

シリコン基板の両面にマスク層を成膜する工程、前記マスク層のうち第 1 の面のマスク層を支持基板、弾性支持部、可動板の外形部分を残して除去する工程、前記マスク層のうち

50

前記第1の面とは反対側のマスク層を支持基板、弾性支持部及び可動板の外形部分を残して除去すると共に、前記弾性支持部の凹部の部分のマスク層を除去する工程、前記シリコン基板をアルカリ水溶液に浸漬して異方性エッチング加工を行うことにより、前記シリコン基板を支持基板、弾性支持部及び可動板に分離すると共に、前記弾性支持部に凹部を形成する工程、前記シリコン基板のマスク層を除去する工程、を含むことを特徴とするマイクロ構造体の製造方法。

#### 【請求項13】

シリコン基板の両面にマスク層を成膜する工程、前記マスク層の両面のマスク層を支持基板、弾性支持部及び可動板の外形部分を残して除去すると共に、前記弾性支持部の凹部の部分のマスク層を除去する工程、前記シリコン基板をアルカリ水溶液に浸漬して異方性エッチング加工を行うことにより、前記シリコン基板を支持基板、弾性支持部及び可動板に分離すると共に、前記弾性支持部に凹部を形成する工程、前記シリコン基板のマスク層を除去する工程、を含むことを特徴とするマイクロ構造体の製造方法。

10

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【0001】

#### 【発明の属する技術分野】

本発明は、マイクロマシンの分野に関するものである。より詳しくは、ねじり軸中心にねじり振動する部材を有するマイクロ力学量センサ、マイクロアクチュエータ、マイクロ光偏向器等に関するものである。

#### 【0002】

20

#### 【従来の技術】

近年において半導体デバイスの高集積化に代表されるようにマイクロエレクトロニクスの発展に伴い、様々な機器が高機能化と共に小型化されてきている。マイクロマシンデバイス（例えば、ねじり軸中心にねじり振動する部材を有するマイクロ光偏向器、マイクロ力学量センサ、マイクロアクチュエータ等）を利用した装置も同様で、例えば、光偏向器を用いて光走査を行う、レーザビームプリンタ、ヘッドマウントディスプレイ等の画像表示装置、バーコードリーダ等の入力デバイスの光取り入れ装置等においても高機能化、小型化がなされ、更に、より一層の小型化によって、例えば、持ち運びに容易な形態とした製品への応用が望まれている。さて、このような携帯型製品への応用を筆頭に、マイクロマシンデバイスには、実用への応用に向けて、一層の小型化に加え、外部振動などのノイズに対するねじり振動の安定性や耐衝撃性、寿命などの高性能化が特に要求されている。

30

#### 【0003】

これらの要求に対する提案として、例えば、特開平09-280275、10th International Conference on Solid-State Sensors and Actuators (Transducers '99) PP. 1002-1005が開示されている。

#### 【0004】

#### （第1の従来例）

図16は、特開平09-280275に開示された第1の従来例のマイクロ光偏向器を示す斜視図である。

40

#### 【0005】

トーションパネ1005は、張力で引っ張られた状態で、固定治具1002によってハウジング1001に取り付けられている。そして、トーションパネ1005の中央付近には、磁石付きミラー1008が、図示しない接着剤にて固定されている。磁石付きミラー1008は、厚さ0.3mm、縦3mm、横6mmのNi-Co（ニッケルコバルト）またはSm-Co（サマリウムコバルト）からなる。トーションパネ1005は、超弾性合金（例えばNi-Ti合金）からなり、中央部の線径は約140μm、長さが約10mmである。そして、トーションパネ1005がハウジング1001に固定された部分は、無電解メッキ法等により、磁石付きミラー1008が固定された中央部よりも太くなっている。このハウジングとの固定部分が、ハウジング固定部1013とする。

50



## 【0006】

一方、コア1006には、コイル1007が、例えば約300ターン巻きつけられている。コイル1007は、コア1006に設けられたネジ孔1008及びハウジング1001に設けられた孔1004を通して、図示しないネジによってハウジング1001に固定されている。そして、このコイル1007の巻き線の両端には、パルス電流発生器1009が接続されており、パルス電流発生器1009により、例えば3Vで100mA程度の電流をコイルに流すと、交番磁界が発生し、磁石付きミラー8が振動する。光源1011より発射されたレーザー光線1010は、磁石付きミラー1008によって反射され、磁石付きミラー1008が共振することにより被走査面1012に走査される。

## 【0007】

ハウジング固定部1013は、無電解メッキ法等の皮膜加工により、テーパ状に形成されている。したがって、駆動時のハウジング固定部1013への応力集中を緩和することができ、ひいてはトーシヨンバネ1005の断線防止に作用する。

## 【0008】

(第2の従来例)

図14は、10th International Conference on Solid-State Sensors and Actuators (Transducers '99) PP. 1002-1005にて開示された第2の従来例のハードディスクヘッド用ジンバルの上面図である。このジンバルは、ハードディスクヘッド用サスペンションの先端に取り付けられ、磁気ヘッドにロールとピッチの動きを弾性的に許容させるためのものである。ジンバル2020は、内側にロールトーシヨンバー2022、2024で回転自由に支持された支持枠2031を有している。また、支持枠2031の内側には、ピッチトーシヨンバー2026、2028で回転自由に支持されたヘッド支持体2030が形成されている。ロールトーシヨンバー2022、2024とピッチトーシヨンバー2026、2028のねじれの軸(図29の直交する鎖線参照)は、互いに直交しており、それぞれ、ヘッド支持体2030のロールとピッチの動きを担当している。

## 【0009】

図15は、図14中の切断線2006における断面図である。図15に示すように、トーシヨンバー2022の断面形状はT字形状をしており、また、ジンバル2020はリブを有する構造になっている。

## 【0010】

図15に示すように、このT字断面を有するトーシヨンバーは、円断面や長方形断面のような断面形状を有するトーシヨンバーと比べて、断面二次極モーメントが小さいわりに、断面二次モーメントが大きいという特徴がある。そのため、比較的ねじれやすい割に、みにくいトーシヨンバーを提供できる。つまり、ねじれ方向に十分なコンプライアンスを確保しながら、ねじれの軸に垂直な方向には剛性の高いトーシヨンバーを提供できる。

## 【0011】

また、必要なコンプライアンスを得るための長さが短いトーシヨンバーを提供できるため、より小型化できるという利点もある。

## 【0012】

こうして、このT字断面を有するトーシヨンバーを用いることで、ロール、ピッチ方向に十分なコンプライアンスを持ち、その他の方向には十分な剛性を有し、より小型化が可能なマイクロジンバルを提供できる可能性がある。

## 【0013】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、前記第1および第2の従来例は以下にのべる問題があった。

## 【0014】

第1の従来例において、トーシヨンバネ1005は線材であり、その断面形状は、円形である。この様な断面形状のトーシヨンバネを有するマイクロ構造体は、トーシヨンバネがみやすいため、外部の振動を拾ったり、トーシヨンバネのねじり軸がぶれてしまい、正

10

20

30

40

50

確な駆動ができないという問題点があった。

【0015】

加えて、外部からの衝撃によっても、トーシヨンバネ1005がみやすいため、磁石付ミラー1008が並進方向（つまり、ねじり軸と垂直方向）へ大きく変位を起こしてトーシヨンバネ1005が破断してしまう事故を招きやすいという問題点があった。

【0016】

そのため、この様なマイクロ光偏向器を例えば、光走査型ディスプレイに適用した場合に、外部振動によって像がぶれたり、スポット形状が変化してしまうという問題点があった。また、衝撃によりディスプレイ自体が破損してしまうという問題点もあった。これは、光走査型ディスプレイを持ち運び容易な形態にした場合に、より大きな問題となる。

10

【0017】

また、第1の従来例においては、更に、トーシヨンバネ1005は、磁石付ミラー1008を支持している支持部分に対して、ハウジング1001に固定されたハウジング固定部1018の線径が大きく形成されている。しかし、ねじり振動によって生じる応力集中は、ハウジング固定部1018にも生じるが、ねじり振動はハウジング1001に対する磁石付ミラー1008の相対的な運動であるので、トーシヨンバネ1005の磁石付ミラー1008を支持している支持部分にも同様に応力集中が生じる。したがって、この第1の従来例の構成によれば、トーシヨンバネ1005の磁石付ミラー1008の支持部分への応力集中の緩和ができず、トーシヨンバネ1005の断線防止の効果は十分に望めないという問題もあった。

20

【0018】

最後に、トーシヨンバネ1005はねじり方向の変位を主に行う部分の断面形状は円形であり、ハウジング固定部1018では、そこから更に線径を大きくすることによって断線防止の効果を得ようと意匠されているが、このようなハウジング固定部1018の構造により、それを固定するハウジング1001も大型化しなければならないという問題点があった。特にマイクロ光偏向器を小型にしたい場合には、ハウジング1001の厚さなどの寸法とトーシヨンバネ1005の線径は、次第にオーダーが近いものとなるので、より大きな問題となる。

【0019】

第2の従来例において、T字断面のトーシヨンバーは、ねじり振動によってねじれたときに、T字断面のトーシヨンバーの両端の支持部分（例えば、ビッチトーシヨンバー2028、2026におけるヘッド支持体2080の支持部分や、支持棒2081の支持部分、または、ロールトーシヨンバー2022、2024における支持棒2081の支持部分や、ジンバル2020の支持部分）への応力集中が生じ、トーシヨンバーが破断しやすいという問題があった。したがって、トーシヨンバーの長さを十分に長く設定しない限りは、大きな変位角で駆動させることができない。これにより小型化できないばかりか、トーシヨンバーの長さを長く設定した場合でも、トーシヨンバーがみやすくなり、外部からの衝撃により、ヘッド支持体2080がねじり軸と垂直方向へ大きく並進運動してしまう。したがって、第2の従来例のハードディスクヘッド用ジンバルをハードディスクに搭載した場合、外部からの振動や衝撃により、記録媒体と接触したり、ヘッド自体が破損するなどして、ハードディスクの故障の原因となる。これは、ハードディスクを持ち運び容易な形態にしたときに、より大きな問題となる。

30

40

【0020】

また、このような応力集中により、破断が生じなくても大きな応力が繰り返し負荷することとなり、トーシヨンバーが繰り返し応力による疲労破壊を早期に起こしやすいという問題点もあった。

【0021】

本発明は、上記従来の問題点に鑑みなされたもので、その目的は、大きなねじり角でも小型で、不要振動の少ない、長寿命のマイクロ構造体、及びその製造方法、それを用いた光学機器を提供することにある。

50

## 【0022】

## 【課題を解決するための手段】

よって本発明は、支持基板と可動板からなり、該可動板が弾性支持部によって前記支持基板に対して、ねじり軸を中心にねじり振動自在に支持されているマイクロ構造体であって、前記弾性支持部は、少なくとも1つ以上の凹部を有し、前記凹部が形成される第1の区間の両端に、前記凹部が形成されない第2の区間を配置して構成され、該第2の区間は、前記可動板、及び前記支持基板と接続していることを特徴とするマイクロ構造体を提供する。

## 【0023】

また、本発明は、シリコン基板の両面にマスク層を成膜する工程、前記マスク層のうち第1の面のマスク層を支持基板、弾性支持部、可動板の外形部分を残して除去する工程、前記マスク層のうち前記第1の面とは反対側のマスク層を支持基板、弾性支持部及び可動板の外形部分を残して除去すると共に、前記弾性支持部の凹部の部分のマスク層を除去する工程、前記シリコン基板をアルカリ水溶液に浸漬して異方性エッチング加工を行うことにより、前記シリコン基板を支持基板、弾性支持部及び可動板に分離すると共に、前記弾性支持部に凹部を形成する工程、前記シリコン基板のマスク層を除去する工程、を含むことを特徴とするマイクロ構造体の製造方法を提供する。

## 【0024】

また、本発明は、シリコン基板の両面にマスク層を成膜する工程、前記マスク層の両面のマスク層を支持基板、弾性支持部及び可動板の外形部分を残して除去すると共に、前記弾性支持部の凹部の部分のマスク層を除去する工程、前記シリコン基板をアルカリ水溶液に浸漬して異方性エッチング加工を行うことにより、前記シリコン基板を支持基板、弾性支持部及び可動板に分離すると共に、前記弾性支持部に凹部を形成する工程、前記シリコン基板のマスク層を除去する工程、を含むことを特徴とするマイクロ構造体の製造方法を提供する。

## 【0025】

## 【発明の実施の形態】

以下本発明の実施の形態について図面を参照しながら詳細に説明する。

## 【0026】

## (第1の実施形態)

## (全体の説明、ミラー(可動板部))

図1は、本発明の第1の実施形態のマイクロ光偏向器の構成を示す斜視図である。図1においてマイクロ光偏向器1は支持基板2に可動板6の両端が弾性支持部3で支持された構造となっている。弾性支持部3は可動板6をC軸(つまり、ねじり軸)を中心に弾性的にE方向にねじれ振動自在に支持するものである。また、弾性支持部3には、図1に示すように、凹部5が形成されている。更に、可動板6の一方の面は反射面4となっていて、可動板6のE方向のねじれにより反射面4に入射する入射光を所定変位角偏向するものである。

## 【0027】

そしてマイクロ構造体の一例であるマイクロ光偏向器1は、駆動手段を設けることで可動板6をねじり振動させることが出来るのでマイクロ構造体と駆動手段とによりアクチュエーターを提供することが出来る。駆動手段は支持基板と可動板とを相対的に駆動させるもので本実施形態において、は後述するマグネットやコイルである。マグネットやコイルを用いる場合、電磁アクチュエーターを提供することが出来る。

## 【0028】

## (マグネット)

さらに、可動板6には、反射面4が形成される面と反対側(以下裏面と称す)に、永久磁石7、例えばサマリウム-鉄-窒素を含む希土類系の永久磁石、が設置されている。そして、永久磁石7はねじり軸Cを挟んで異極に着磁されている。

## 【0029】



(一体形成、ミラー基板)

これら支持基板 2、可動板 6、反射面 4、弾性支持部 3 及び凹部 5 は、共に半導体製造技術を応用したマイクロマシニング技術により単結晶シリコンで一体的に形成されている。

【0030】

(コイル基板の説明)

また、永久磁石 7 と所望の距離を置いて近傍に磁気発生手段であるコイル 9 が配置されるようにコイル基板 8 が支持基板 2 と平行に設置されている。コイル 9 は図 1 のようにコイル基板 8 の面上に、渦巻状に例えば銅を電気メッキすることにより一体形成されている。

【0031】

(動作)

図 2 を用いて、本実施形態のマイクロ光偏向器 1 の動作を説明する。図 2 は、図 1 のマイクロ光偏向器 1 の A-A 線での断面図である。図 2 に示すように永久磁石 7 はねじり軸 C を挟んで異極となるように着磁されており、その向きは例えば図示の通りである。コイル 9 に通電することにより磁束  $\Phi$  が通電する電流の向きに関係して、例えば図 2 の向きに発生する。永久磁石 7 の磁極には、この磁束に関係した方向にそれぞれ吸引及び反発力が発生し、ねじり軸 C を中心に弾性支持された可動板 6 にトルク T が働く。同様にして、コイル 9 に通電する電流の向きを反対にすれば、反対向きにトルク T が働く。したがって、図 2 に示すように、コイル 9 に通電する電流に応じて、任意の角度、可動板 6 を駆動することが可能である。

10

【0032】

(共振)

更に、コイル 9 に交流電流を通電することにより、可動板 6 を連続的にねじり振動させることが可能である。このとき、交流電流の周波数を可動板 6 の共振周波数とほぼ一致させ、可動板 6 を共振させると、更に大きな角変位が得られる。

20

【0033】

(スケール)

本実施形態のマイクロ光偏向器 1 は、例えば、可動板 6 の共振周波数である 19 kHz、機械的な変位角  $\pm 10^\circ$  で駆動する。支持基板 2、可動板 6、弾性支持部 3 は全て等しい厚さ 150  $\mu\text{m}$  で構成され、可動板 6 の B 方向 (図 1 の A-A 方向) の幅が 1.3 mm、ねじり軸方向の長さが 1.1 mm で実施される。つまり可動板の面の面積は数  $\text{mm}^2$  程度の面積 (特に 2  $\text{mm}^2$  以下の面積) でありこの可動板付き支持基板はマイクロ構造体である。(弾性支持部の詳しい構成の説明)

30

【0034】

以下、本発明の特徴である弾性支持部 3 と凹部 5 について詳しく説明する。

【0035】

図 3 は、支持基板 2 の裏面からみた斜視図である。

【0036】

図 3 に示すように本実施形態では、弾性支持部 3 に凹部 5 が形成されている。図 1、図 3 に示したように、弾性支持部 3 には反射面 4 の形成される面とその裏面どちらにも凹部 5 が形成されている。また、可動板 6 を支持する 2 本の弾性支持部 3 は同一の形状である。

40

【0037】

そこで、以下では図 4 (a) (b)、図 5 (a) ~ (d) を用いて、図 3 の破線で囲んだ弾性支持部 3、凹部 5 について説明を行う。図 4 (a) は図 3 の破線で囲んだ弾性支持部 3 を特に拡大した上面図、図 4 (b) は図 4 (a) の S-S 線での断面図である。また、図 5 の (a) ~ (d) は、図 4 (a) (b) に示した O-O 線、P-P 線、Q-Q 線、R-R 線での弾性支持部 3 の断面をそれぞれ示している。

【0038】

図 4 (a) に示すように、凹部 5 は、ねじり軸の軸方向における弾性支持部 3 の両端、つまり、可動板 6 と接続する一端と、支持基板 2 と接続する一端には、形成されない。したがって、弾性支持部 3 は、凹部 5 が形成されない区間 M に凹部 5 が形成される区間 N が挟

50



まれた構成となっている。

【0039】

図4(b)は、図4(a)のS-S線での断面を示している。本実施形態のマイクロ光偏向器1では、特に、凹部5は、4つのシリコン結晶面の(111)等価面で構成されている。そのうち、図4(a)(b)に示した傾斜面11の2つは、反射面及びその裏面の形成される面である(100)等価面と図示のように、ほぼ54.7度の角度を成している。この傾斜面11が形成されている区間を区間N'、その他の区間Nを区間N''とする。したがって、本実施形態の光偏向器1では、弾性支持部3は、凹部5が形成されない区間Mに凹部5が形成される区間Nが挟まれ、さらに、区間Nは、傾斜面11が形成される区間N'が、区間N''を挟む構成となっている。但し、ここで(111)等価面、(100)等価面とは、例えば(111)面、(1-1-1)面、(-1-11)面および、(-100)面など示される結晶面のそれぞれ総称である。

10

【0040】

(断面形状が変化するという説明)

図5(a)は、区間M(図4O-O線)での弾性支持部3の断面形状を示している。

【0041】

一方、図5(d)は区間N''(図4R-R線)での断面形状を示している。区間N''では、凹部5が形成されたことにより、弾性支持部3の断面形状が、X字状の多角形となる。すなわち、図5(a)の区間Mにおける断面に比べ、この区間N''の断面は、断面2次極モーメントが小さい。

20

【0042】

弾性支持部3に凹部5を形成しない場合、図4(a)に示した角部10には、大きな応力集中が生じ、これが弾性支持部3の破断の主要な一因となる。しかし、凹部5形成により、本実施形態の弾性支持部3は区間Mから区間N''へ断面2次極モーメントが小さくなっているため、区間Nにおける単位長さあたりのねじれ角 $\theta$ より、区間Mにおける $\theta$ の方が小さくなり、角部10が大きな歪みを受けない。このため、角部10への応力集中を緩和することができる。

【0043】

更に、区間N''の断面形状は、凹部5が形成されても、ねじり軸と垂直な方向へは、依然大きな断面2次モーメントを有しており、ねじり振動以外の不要振動や不要変位を生じにくい弾性支持部とすることができ。

30

【0044】

さて、図5(b)(c)には、区間N'(図4P-P線、Q-Q線)での断面形状を示している。図4(b)で示したように、区間N'に形成された傾斜面11により、この部分の凹部5は区間M側から区間N''側へ向かって深くなるため、図5(b)(c)に示すように、断面形状も区間Mから区間N''へ徐々に推移するような中間的な多角形形状となる。

【0045】

したがって、断面2次極モーメントも連続的に変化するため、区間Mから区間N''への形状変化が急激に生じた場合と比べて、急激な変化点で生じる新たな応力集中を更に緩和することができ、より好ましい形態とすることができる。

40

【0046】

このように本実施形態で典型的に区間M、区間Nとして示したように、弾性支持部に凹部を形成することにより、弾性支持部の両端付近に生じる応力集中を緩和し、弾性支持部の破断を防ぎ、マイクロ光偏向器を広偏向角化、長寿命化することができる。加えて、区間Nのように、断面2次極モーメントが小さく、断面2次モーメントが比較的大きい断面形状とすることにより、ねじり易く、外部からの振動や衝撃に対して不要振動や変位をねじれ軸に垂直方向に生じないマイクロ光偏向器とすることができる。

【0047】

このような効果は、本実施形態の弾性支持部、凹部の断面形状のみに限定されるわけでは

50

なく、任意の弾性支持部、凹部を用いて本発明の目的を達成することができる。

#### 【0048】

また、特に本実施形態で典型的に傾斜面11の形成される区間N'として示したように、凹部の形成されない区間と凹部の形成される区間との間に、中間的な断面形状が形成されるように、凹部の側壁をねじり軸と垂直な面に対して傾斜させることで、更に応力集中を緩和して、本発明のマイクロ光偏向器を更に好ましい形態とすることができる。

#### 【0049】

更に、本実施形態のように、単結晶シリコンで一体に支持基板2、可動板6、弾性支持部8、凹部5を形成することにより、機械的なQ値が大きなマイクロ光偏向器とすることができる。これは、共振駆動したときに投入エネルギーあたりの振動振幅が大きくなることを示しており、本発明のマイクロ光偏向器は、大きな偏向角で、小型・省電力なものとする

10

#### 【0050】

また、本実施形態では、区間N'の断面形状をX字状の多角形とすることにより、断面2次極モーメントがより小さく、断面2次モーメントがより大きい断面形状とすることができる。更に、ねじり軸Cが可動板6の重心位置をほぼ通過する形態とすることができるため、ねじり振動の軸Cからのぶれをより少なくすることができる。したがって、本発明のマイクロ光偏向器を更に好ましい形態とすることができる。

#### 【0051】

また、本実施形態では、弾性支持部と同時に形成される(100)等価面と(111)等価面で構成された可動板6のねじり軸Cと垂直な断面形状は、図2に示すように、側壁が陥没状となる多角形である。したがって、可動板の断面が長方形である場合と比べ、慣性モーメントが低減され、同時に剛性は高く保たれるので、マイクロ光偏向器を高速駆動させた場合でも、反射面の変形が少なく、共振周波数を高く設定しても弾性支持部のねじりのバネ定数は低く設定することができるため、少ないトルクで大きな偏向角が得られる。

20

#### 【0052】

##### (製造プロセス)

次に本実施形態の支持基板2、弾性支持部8、可動板6、凹部5の製造方法を図6(a)～(e)、図7(a)～(f)を参照して説明する。図6(a)～(e)、図7(a)～(f)は本実施形態における支持基板2、弾性支持部8、可動板6、凹部5のアルカリ水溶液を用いた異方性エッチングによる製造方法を示す工程図である。特に図6は、図1のA-A線の、図7は図4(a)のR-R線のそれぞれの断面の各工程の概略図を示している。まず、図6(a)に示すように低圧化学気相合成法等により平板状のシリコン基板104の両面に窒化シリコンのマスク層101を成膜する。

30

#### 【0053】

次に、図6(b)に示すように反射面4が形成される面のマスク層101を支持基板2、可動板6、弾性支持部8、凹部5の形成予定部分の外形に応じてパターニングする。このパターニングは通常のフォトリソグラフと窒化シリコンを侵食するガス(例えばCF<sub>4</sub>等)を用いたドライエッチング加工によって行う。また、図6(c)に示すように反射面4が形成されない面に、支持基板2、可動板6、弾性支持部8、凹部5の外形に応じてマスク層101をパターニングする。この場合も図6(b)と同様の方法でパターニングを行う。

40

#### 【0054】

次いで、図6(d)に示すように単結晶シリコンの結晶面によって腐食する速度が著しく異なるアルカリ水溶液(例えば、水酸化カリウム水溶液、テトラメチルアンモニウムヒドロキシド水溶液等)に所望の時間、浸漬することによって異方性エッチング加工を行い、図6(d)に示すような形状の支持基板2、可動板6を形成する。この時、同時に、弾性支持部8、凹部5も形成する。異方性エッチングでは(100)等価面でエッチング速度が速く、(111)等価面で遅く進むため、シリコン基板104の表面と裏面の両面からエッチングを進行させ、マスク層101のパターンとシリコンの結晶面との関係によりマ

50

スク層 101 で覆われた部分の (100) 面と (111) 面で囲まれた形状に正確に加工することが可能である。なお、弾性支持部 3、凹部 5 のこの異方性エッチング行程での形成過程の詳細は、図 7 を用いて詳しく後述する。

#### 【0055】

次に、図 6 (e) に示すように窒化シリコンのマスク層 101 を除去し、更に反射面 4 として高反射率を有する金属（例えば、アルミニウム等）を真空蒸着する。以上の製造方法により、支持基板 2、凹部 5 が形成された可動板 6、反射面 4、弾性支持部 3、及び凹部 5 が一体に形成される。

#### 【0056】

その後、サマリウム－鉄－窒素を含む希土類系の粉体を接合材料と混ぜたペースト状の磁性体を可動板 6 の裏面に形成する。このとき、例えば、シルクスクリーン印刷を用いて可動板 6 の裏面のみに磁性体を形成できる。最後に、磁場中で加熱処理をした後、着磁（着磁方向は図 2 を参照）を行って永久磁石 7 を形成し、図 1 のマイクロ光偏向器 1 が完成する。

#### 【0057】

（製造プロセス（弾性支持部であるトーションバーと凹部の形成過程））

ここで、図 7 (a) ～ (f) を用いて、図 6 (d) に示した異方性エッチング行程での弾性支持部 3 と凹部 5 の形成過程を詳しく説明する。

#### 【0058】

図 7 (a) に示すように、前行程で形成された弾性支持部 3 と凹部 5 の形成予定部分の外形に応じたマスク層 101 は、弾性支持部 3 と可動板 6 の外形に沿って  $W\alpha$  の幅を有する開口部 191 が形成されており、また、凹部 5 の外形に沿って  $W\theta$  の幅を有する開口部 190 が形成されている。

#### 【0059】

ここで、図 7 (b) に示すように、例えば、水酸化カリウム水溶液を用いて、シリコン基板 104 の両面からエッチングを行う。前述の通り、(100) 等価面と (111) 等価面のエッチング速度差により、エッチングはまず、掘り進むにつれて開口部が狭くなるように進行する。

#### 【0060】

やがて、図 7 (c) に示すように、 $W\theta$  の幅を有する開口部 190 においては、シリコン基板 104 の中央に達する前にすべての面が (111) 等価面になりエッチングがストップするため、V 字状の凹部 5 が形成される。また、 $W\alpha$  の幅を有する開口部 191 においては、基板を貫通するまでエッチングが進行する。図 4 (b) に示すように、(111) 等価面は、(100) 等価面に対して、 $54.7^\circ$  の角度を有するため、開口部の幅  $w$  と V 字状の凹部 5 の深さの関係は、 $d = w / 2 \tan 54.7^\circ$  である。すなわち、 $W\theta < \tau / \tan 54.7^\circ$ 、 $W\alpha > \tau / \tan 54.7^\circ$  の関係を満たしている。ここで、 $\tau$  はシリコン基板 104 の厚みである。

#### 【0061】

次に、図 7 (d)、(e) に示すように開口部 191 の上下からの穴が貫通したあとは、エッチングは側方に進んでいく。

#### 【0062】

最後に、図 7 (f) のように、側壁が (111) 等価面に到達して、エッチングがストップする。したがって、弾性支持部 3 の側面、及び、可動板 6 の側面（図 6 (d) 参照）には (111) 等価面の陥没形状が形成される。また、弾性支持部 3 の図 4 R-R 線での断面形状は、X 字状の多角形に加工される。

#### 【0063】

このように本実施形態のマイクロ光偏向器 1 の製造方法によれば、可動板 6、弾性支持部 3、凹部 5 のすべての構造を 1 回のアルカリ異方性エッチングで加工することができ、非常に安価に大量に製造可能である。また、設計変更等に対してもフォトリソグラフィのマスクパターンとエッチング時間の調節で対応可能となるため、マイクロ光偏向器を益



々安価に、開発期間を短く製造可能となる。加えて、可動板 6、弾性支持部 3、及び凹部 5 の形状は、単結晶シリコンの (111) 等価面で決定するため、その加工を高精度に行う事が可能である。

#### 【0064】

(回折格子)

なお、図 1 では光偏向子として反射面 4 としたが、反射面 4 を反射型の回折格子としても可動板 6 のねじり振動により同様の動作を行うマイクロ光偏向器を構成できる。この場合、入射光に対して偏向光は回折光となるため、1本のビームで複数の偏向光を得ることができ。

#### 【0065】

(第2の実施形態)

(全体の説明：力学量センサ)

図 8 は、本発明の第 2 の実施形態の力学量センサの一例である加速度センサの構成を示す斜視図である。図 8 において加速度センサ 21 は支持基板 2 に可動板 6 の両端が弾性支持部 3 で支持された構造となっている。弾性支持部 3 は可動板 6 を C 軸（つまり、ねじり軸）を中心に弾性的に E 方向にねじれ振動自在に支持するものである。また、弾性支持部 3 には、図 8 に示すように、凹部 5 が形成されている。なお、図 8 では図 1 と同一部分は同一符号を付している。

#### 【0066】

(検出電極、絶縁性基板の説明)

また、可動板 6 と所望の距離を置いて近傍に検出電極 216 が対向して配置されるように絶縁性基板 210 が支持基板 2 と平行に設置されている。なお絶縁性基板 210 は電氣的に接地されている。絶縁性基板 210 は、例えば、検出電極 216 を、アルミを真空蒸着し、それを検出電極 216 の外形に沿ってフォトリソグラフ、エッチングを行ってパターンニングすることによって作製し、シリコン基板である支持基板 2 と、絶縁性基板 210 とを所望の距離を置いて平行に設置するスペーサ（不図示）を介して接着することができる。

#### 【0067】

(加速度センサ、静電アクチュエータ、原理)

支持基板 2 に対して垂直な方向に加速度が作用すると、可動板 6 に慣性力が作用し、可動板 6 は、弾性支持部 3 のねじり軸 C 回りに E 方向に変位する。可動板 6 が E 方向に変位すると、検出電極 216 との距離が変化するため、可動板 6 と検出電極 216 の間の静電容量が変化する。そのため、検出電極 216 と可動板 6 の間の静電容量を検出することによって、加速度を検出することができる。

#### 【0068】

また、逆に、検出電極 216 の間に電圧を印加すると、可動板 6 と検出電極 216 の間に静電引力が作用し、可動板 6 は弾性支持部 3 のねじり軸 C 回りに E 方向に変位する。つまり、本実施例の加速度センサは、静電アクチュエータとしても使用することができる。

#### 【0069】

(弾性支持部 3、凹部 5 の詳しい説明)

図 9 (a) (b)、図 5 (a) ~ (d) を用いて、図 8 の破線で囲んだ弾性支持部 3、凹部 5 について説明を行う。

#### 【0070】

本実施形態の弾性支持部 3、凹部 5 では、第 1 の実施形態の弾性支持部 3、凹部 5 と同様の効果を有している。第 1 の実施形態との違いは、弾性支持部 3、凹部 5 の断面形状であり、ここではこの点について説明する。

#### 【0071】

図 9 (a) は図 8 の破線で囲んだ弾性支持部 3、凹部 5 を特に拡大した上面図、図 9 (b) は図 9 (a) の S-S 線での断面図である。また、図 10 の (a) ~ (d) は、図 9 (a) (b) に示した O-O 線、P-P 線、Q-Q 線、R-R 線での弾性支持部 3 の断面をそれぞれ示している。

10

20

30

40

50



## 【0072】

図9(a)に示すように、凹部5は、弾性支持部3の両端付近には形成されず、凹部5が形成されない区間Mに凹部5が形成される区間Nが挟まれた構成となっている。

## 【0073】

図9(b)は、図9(a)のS-S線での断面を示している。凹部5は、4つのシリコン結晶面の(111)等価面で構成されている。そのうち、図9(a)(b)に示した傾斜面11の2つは、(100)等価面と図示のように、ほぼ54.7度の角度を成している。この傾斜面11が形成されている区間を区間N'、その他の区間Nを区間N''とする。したがって、本実施形態では、弾性支持部3は、凹部5が形成されない区間Mに凹部5が形成される区間Nが挟まれ、さらに、区間Nは、傾斜面11が形成される区間N'が、区間N''を挟む構成となっている。

10

## 【0074】

図10(a)は、区間M(図9O-O線)の弾性支持部3の断面形状で、ほぼ台形である。

## 【0075】

一方、図10(d)は区間N''(図9R-R線)の断面形状で、凹部5が形成されたことにより、弾性支持部3の断面形状が、V字状の多角形となる。

## 【0076】

また、図10(b)(c)は、区間N'(図4P-P線、Q-Q線)での断面形状を示している。この部分の凹部5は区間M側から区間N''側へ向かって深くなるため、断面形状も区間Mから区間N''へ徐々に推移するような中間的な多角形形状となる。

20

## 【0077】

すなわち、区間M、区間N'、区間N''への断面形状の変化により、第1の実施形態での区間M、区間N'、区間N''への断面形状の変化が持っていたのと同様の効果が得られ、図9(a)の角部10への応力集中を緩和し、ねじり振動以外の不要振動や不要変位を生じにくい弾性支持部とすることができる。

## 【0078】

(V字断面に特別な効果)

本実施形態では、特に、区間N''の断面形状がV字状の多角形とすることにより、断面2次極モーメントがより小さく、断面2次モーメントがより大きい断面形状とすることができる。したがって、本発明の加速度センサを好ましい形態とすることができる。

30

## 【0079】

(製造プロセス(弾性支持部であるトーションバーと凹部の形成過程))

次に本実施形態の支持基板2、弾性支持部3、可動板6、凹部5の製造方法を図11(a)~(e)を参照して説明する。図11(a)~(e)は図9(a)(b)のR-R線での断面を特に示しており、弾性支持部3、凹部5の異方性エッチング行程での形成過程を詳しく説明するものである。

## 【0080】

まず、図11(a)に示すように、低圧化学気相合成法等により平板状のシリコン基板104の両面に窒化シリコンのマスク層101を成膜し、弾性支持部3と凹部5の形成予定部分の外形に依りて、マスク層101をパターニングする。このパターニングは通常のフォトリソグラフと窒化シリコンを侵食するガス(例えばCF<sub>4</sub>等)を用いたドライエッチング加工によって行う。形成されるパターンは図示の通り、シリコン基板104の上面側、下面側に、それぞれ幅W<sub>a</sub>と幅W<sub>b</sub>、W<sub>c</sub>の開口が形成される。弾性支持部3と可動板6の外形に沿ってW<sub>b</sub>、W<sub>c</sub>の幅を有する開口部191が形成されており、また、凹部5の外形に沿ってW<sub>a</sub>の幅を有する開口部190が形成されている。

40

## 【0081】

ここで、図11(b)に示すように、例えば、水酸化カリウム水溶液を用いて、シリコン基板104の両面からエッチングを行う。前述の通り、(100)等価面と(111)等価面のエッチング速度差により、エッチングはまず、掘り進むにつれて開口部が狭くなるように進行する。

50

## 【0082】

やがて、図11(c)に示すように、 $W_a$ の幅を有する開口部190においては、シリコン基板104の中央に達する前にすべての面が(111)等価面になりエッチングがストップするため、V字状の凹部5が形成される。また、 $W_a$ の幅を有する開口部191においては、基板を貫通するまでエッチングが進行する。前述の通り、(111)等価面は、(100)等価面に対して、 $54.7^\circ$ の角度を有するため、開口部の幅 $w$ とV字状の凹部5の深さの関係は、 $d = w / 2 \tan 54.7^\circ$ である。すなわち、 $W_a < w / \tan 54.7^\circ$ 、 $W_b$ 、 $W_c > w / \tan 54.7^\circ$ の関係を満たしている。ここで、 $w$ はシリコン基板104の厚みである。

## 【0083】

次に、図11(d)に示すように、下面からのエッチングは、シリコン基板104を貫通するまで進行し、マスク層101でストップする。

## 【0084】

この異方性エッチング行程で、弾性支持部3の図9(a)(b)R-R線での断面形状は、(100)等価面と(111)等価面で囲まれたV字状の多角形に加工される。

## 【0085】

同時に、支持基板2、可動板6もこのエッチング工程で(100)面と(111)面で囲まれた図8に示す形状に加工される。

## 【0086】

最後に図11(e)に示すように、マスク層101を除去し、支持基板2、弾性支持部3、可動板6、凹部5が一体的に形成される。

## 【0087】

(第3の実施形態)

図12は上記マイクロ光偏向器を用いた光学機器の実施形態を示す図である。ここでは光学機器として画像表示装置を示している。図12において、201は第1の実施形態のマイクロ光偏向器を偏向方向が互いに直交するように2個配置したマイクロ光偏向器群21であり、本実施形態では水平・垂直方向に入射光をラスタスキャンする光スキャナ装置として用いている。202はレーザー光源である。203はレンズ或いはレンズ群であり、204は書き込みレンズまたはレンズ群、205は投影面である。レーザー光源202から入射したレーザー光は光走査のタイミングと関係した所定の強度変調を受けてマイクロ光偏向器群201により2次元的に走査する。この走査されたレーザー光は書き込みレンズ204により投影面205上に画像を形成する。つまり本実施形態の画像表示装置はディスプレイに適用できる。

## 【0088】

(第4の実施形態)

図13は上記マイクロ光偏向器を用いた光学機器の他の実施形態を示す図である。ここでは、光学機器として電子写真方式の画像形成装置を示している。図13において、201は第1の実施形態のマイクロ光偏向器であり、本実施形態では入射光を1次元に走査する光スキャナ装置として用いている。202はレーザー光源である。203はレンズ或いはレンズ群であり、204は書き込みレンズ或いはレンズ群、206は感光体である。レーザー光源から射出されたレーザー光は、光走査のタイミングと関係した所定の強度変調を受けて、マイクロ光偏向器201により1次元的に走査する。この走査されたレーザー光は書き込みレンズ204により、感光体206上へ画像を形成する。

## 【0089】

感光体206は図示しない帯電器により一様に帯電されており、この上に光を走査することによりその部分に静電潜像を形成する。次に、図示しない現像器により静電潜像の画像部分にトナー像を形成し、これを例えば図示しない用紙に転写・定着することによって用紙上に画像が形成される。

## 【0090】

【発明の効果】

10

20

30

40

50

以上説明したように本発明のマイクロ構造体は、弾性支持部に凹部を形成し、弾性支持部を、凹部が形成される区間の両端に、凹部が形成されない区間を配置するような構造とし、この凹部が形成されない区間を、可動板、及び支持基板と接続する構成とすることにより、ねじり駆動の際に弾性支持部と可動板及び支持基板の接合部への応力の集中を緩和することができ、弾性支持部の破断を防ぎ、マイクロ構造体を広変位角化、長寿命化することが可能となる。

#### 【0091】

更に、前記凹部を形成することにより弾性支持部はねじり易く、可動板を並進振動させる方向（ねじり軸に垂直な方向）へはたわみ難い形態とすることができ、外乱などによる不要振動が少ない、安定なねじり振動で駆動するマイクロ構造体とすることが可能となる。そのため、大きな変位角でも小型で、不要振動の少ない、長寿命のマイクロ構造体を実現することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態のマイクロ光偏向器を示す斜視図である。

【図2】図1のA-A線における断面図である。

【図3】図1の支持基板、可動板、弾性支持部、凹部、永久磁石を説明するための斜視図である。

【図4】(a)図1の弾性支持部、凹部を説明するための上面図である。(b)図4(a)のS-S線における断面図である。

【図5】図4のO-O線、P-P線、Q-Q線及びR-R線における断面図である。

【図6】図1の光偏向器の製造方法を説明する図である。

【図7】図6の光偏向器の製造方法における弾性支持部、凹部の形成過程を説明する図である。

【図8】本発明の第2の実施形態の加速度センサを示す斜視図である。

【図9】(a)図8の弾性支持部、凹部を説明するための上面図である。(b)図9(a)のS-S線における断面図である。

【図10】図9のO-O線、P-P線、Q-Q線及びR-R線における断面図である。

【図11】図8の加速度センサの製造方法を説明する図である。

【図12】本発明のマイクロ光偏向器を用いた光学機器の一実施形態を示す図である。

【図13】本発明のマイクロ光偏向器を用いた光学機器の他の実施形態を示す図である。

【図14】第2の従来例のハードディスクヘッド用ジンバルを示す図である。

【図15】図14の第2の従来例のハードディスク用ジンバルの断面図である。

【図16】第1の従来例の光偏向器を示す図である。

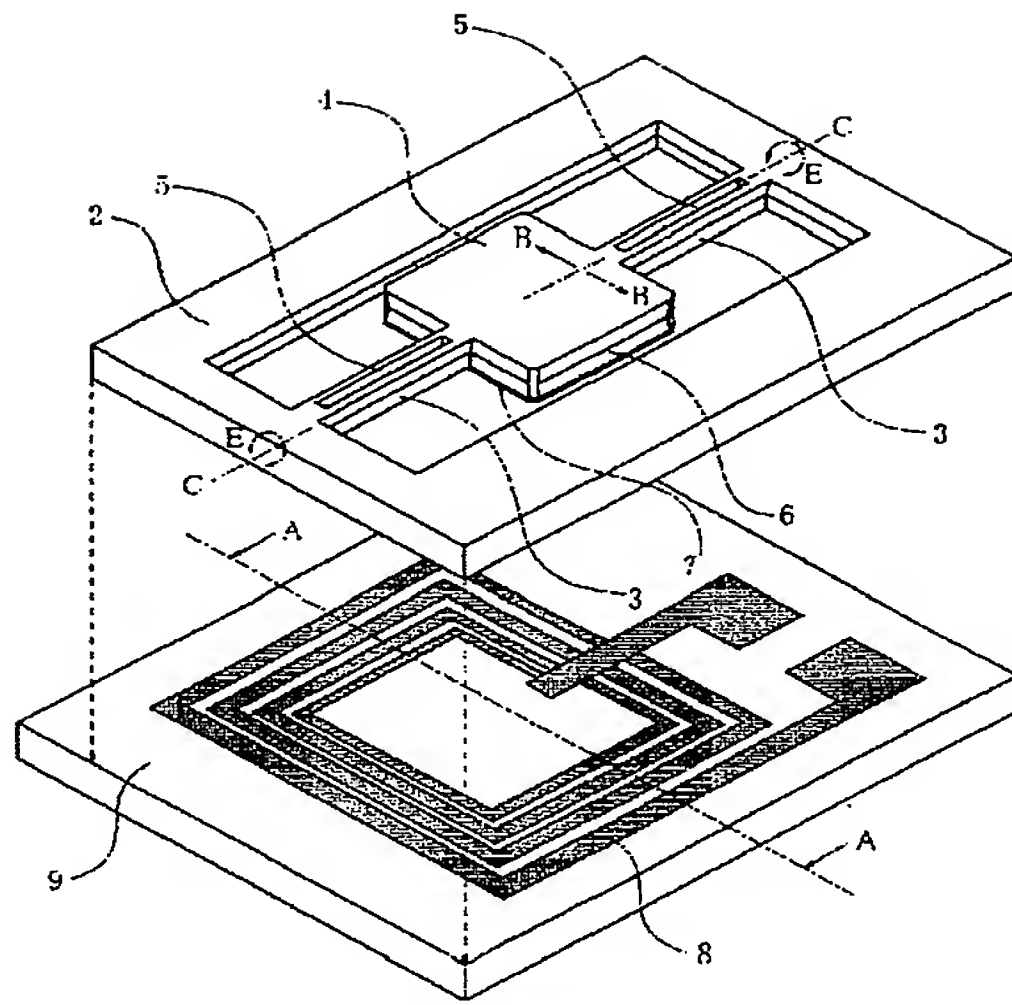
#### 【符号の説明】

- 1    マイクロ光偏向器
- 2    支持基板
- 3    弾性支持部
- 4    反射面
- 5    凹部
- 6    可動板
- 7    永久磁石
- 8    コイル基板
- 9    コイル
- 10   角部
- 11   傾斜面
- 21   加速度センサ
- 101   マスク層
- 102   アルミ層
- 103   フォトリソスト層
- 104   シリコン基板

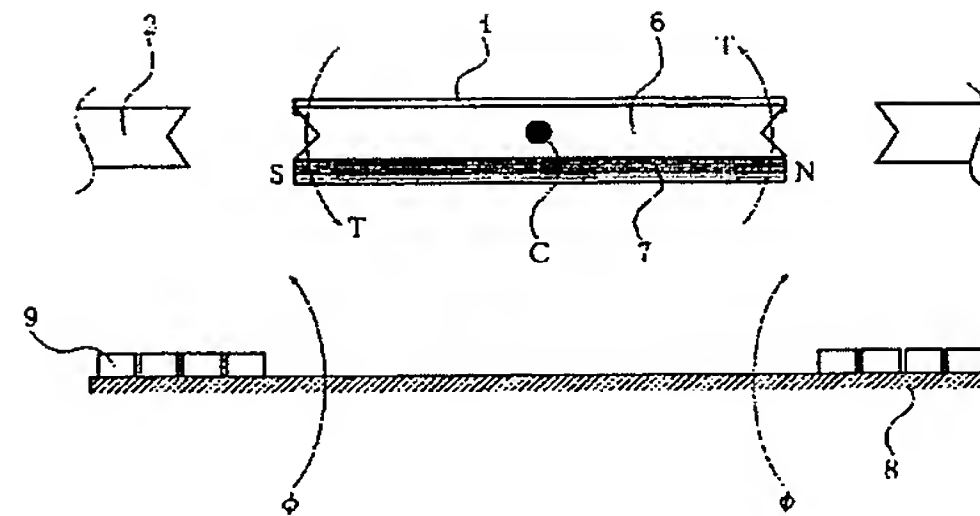
|         |            |    |
|---------|------------|----|
| 1 9 0   | 開口部        |    |
| 1 9 1   | 開口部        |    |
| 2 0 1   | マイクロ光偏向器群  |    |
| 2 0 2   | レーザー光源     |    |
| 2 0 3   | レンズ        |    |
| 2 0 4   | 書き込みレンズ    |    |
| 2 0 5   | 投影面        |    |
| 2 0 6   | 感光体        |    |
| 2 1 0   | 絶縁性基板      |    |
| 2 1 6   | 検出電極       | 10 |
| 1 0 0 1 | ハウジング      |    |
| 1 0 0 2 | 固定治具       |    |
| 1 0 0 3 | 磁石付きミラー    |    |
| 1 0 0 4 | 孔          |    |
| 1 0 0 5 | トーションバネ    |    |
| 1 0 0 6 | コア         |    |
| 1 0 0 7 | コイル        |    |
| 1 0 0 8 | ネジ孔        |    |
| 1 0 0 9 | パルス電流発生器   |    |
| 1 0 1 0 | レーザー光線     | 20 |
| 1 0 1 1 | 光源         |    |
| 1 0 1 2 | 被走査面       |    |
| 1 0 1 3 | ハウジング固定部   |    |
| 2 0 0 6 | 切断線        |    |
| 2 0 2 0 | シンバル       |    |
| 2 0 2 2 | ロールトーションバー |    |
| 2 0 2 4 | ロールトーションバー |    |
| 2 0 2 6 | ビッチトーションバー |    |
| 2 0 2 8 | ビッチトーションバー |    |
| 2 0 3 0 | ヘッド支持体     | 30 |
| 2 0 3 1 | 支持枠        |    |



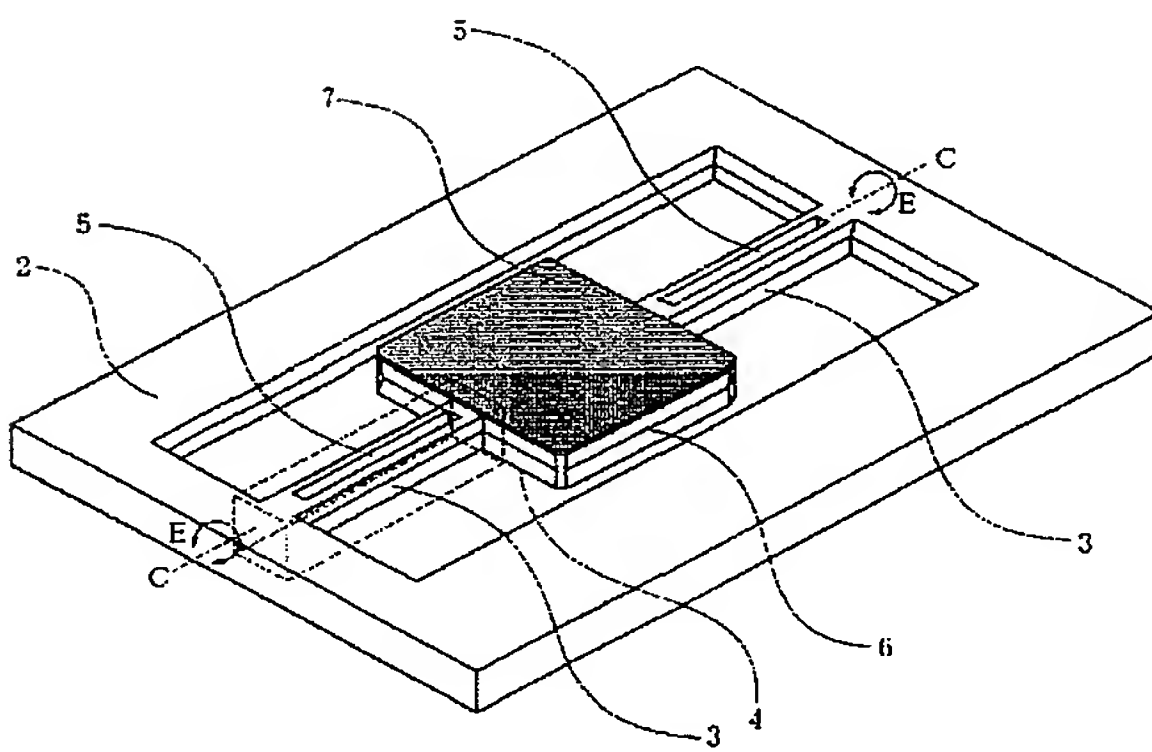
【図 1】



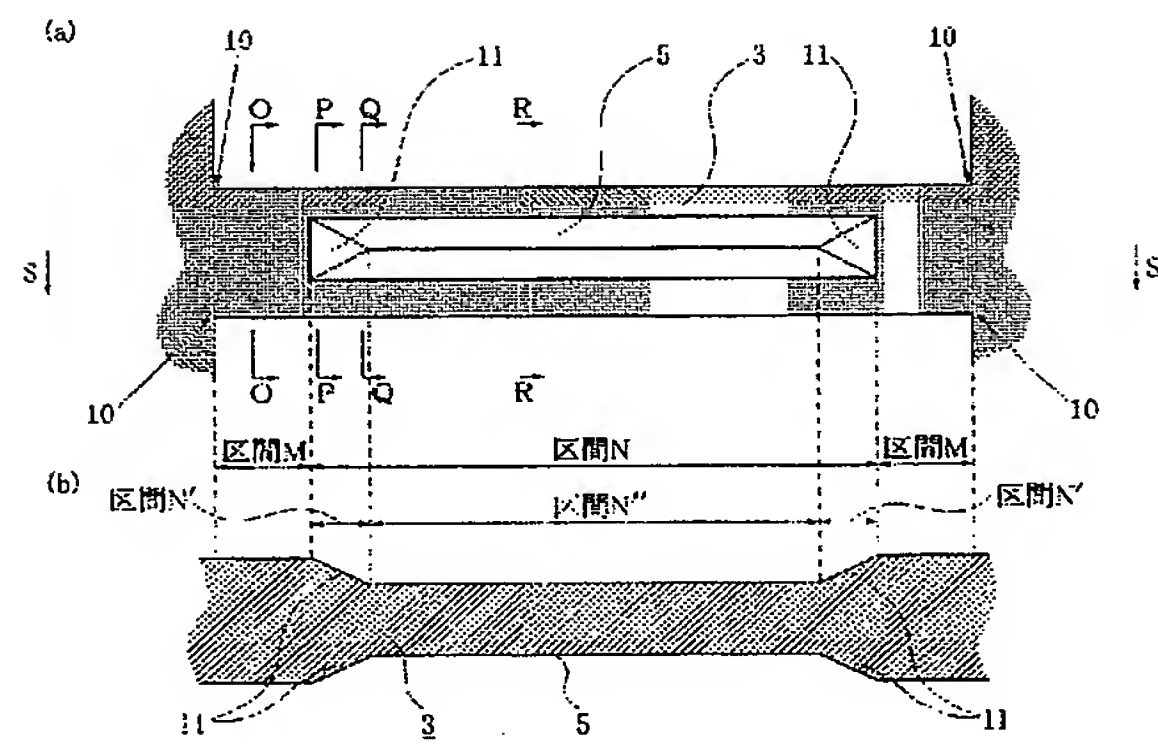
【図 2】



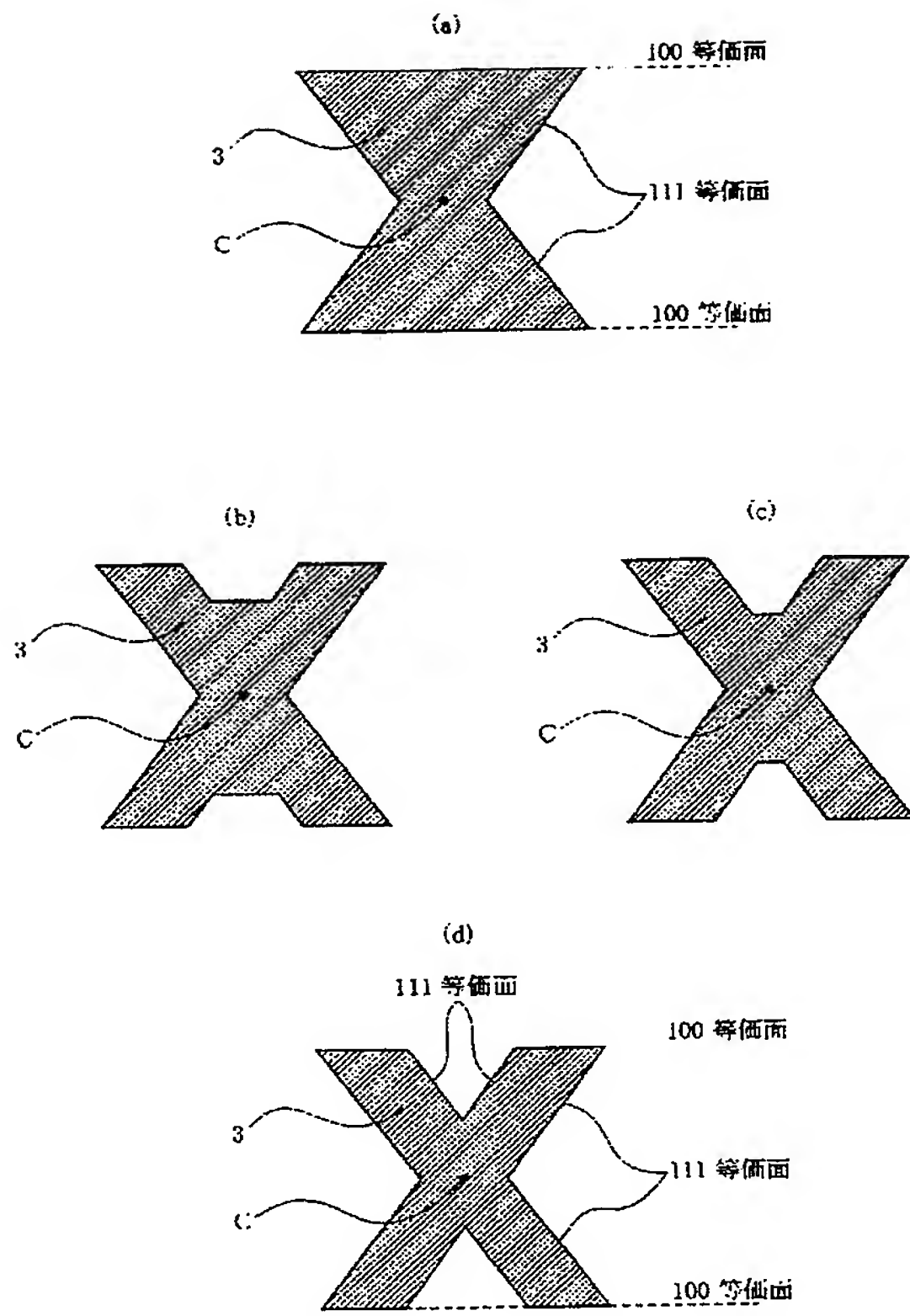
【図 3】



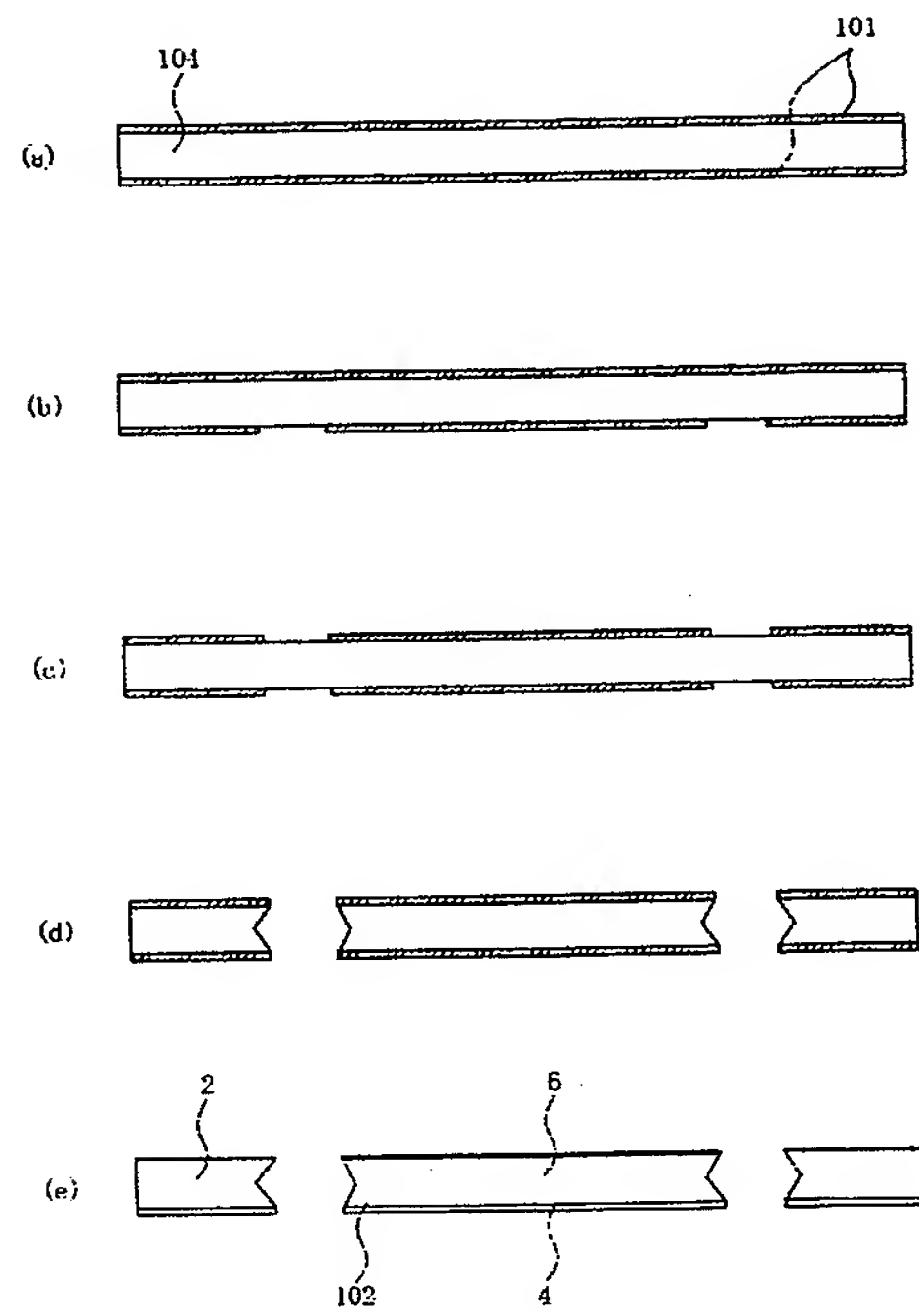
【図 4】



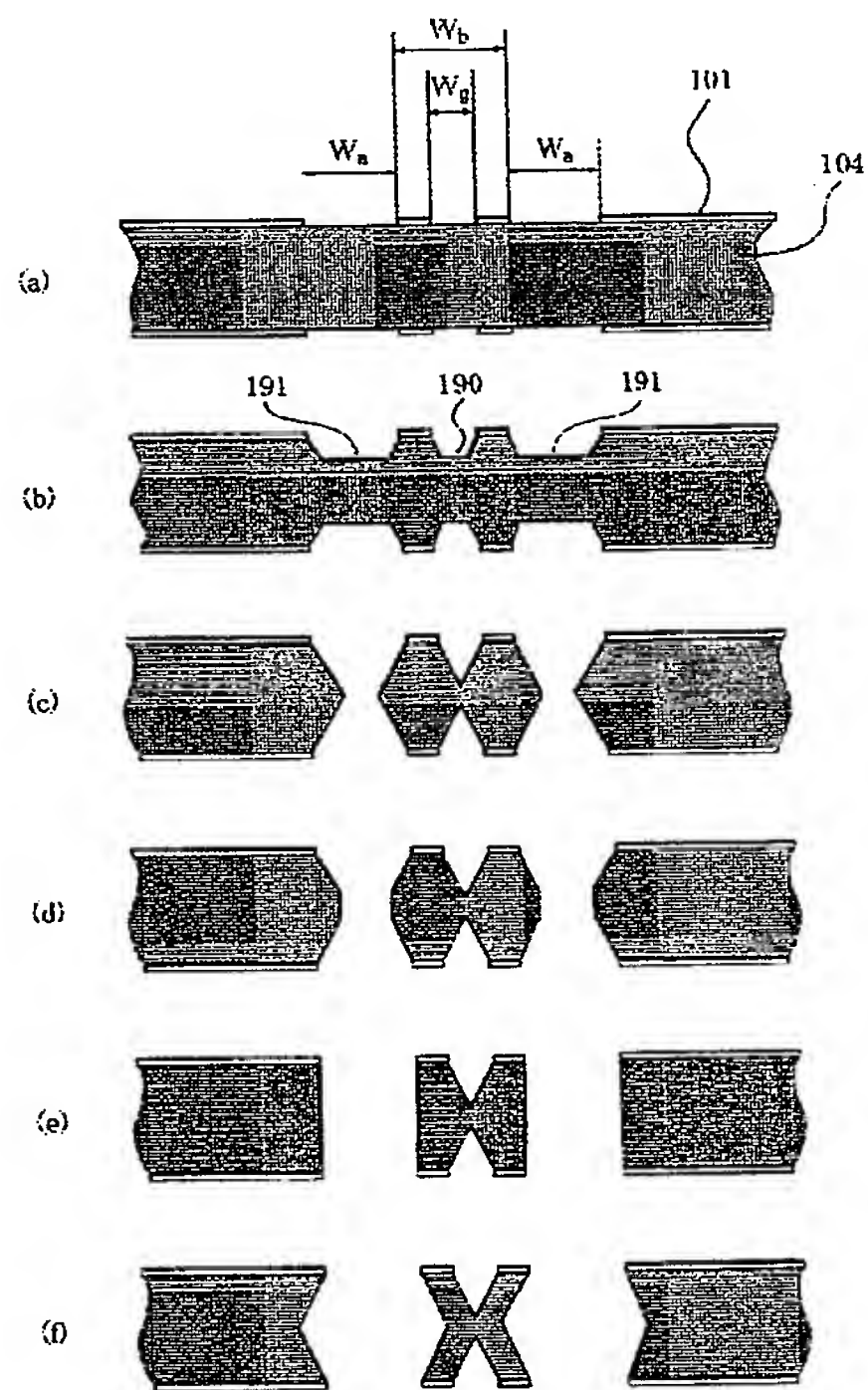
【図 5】



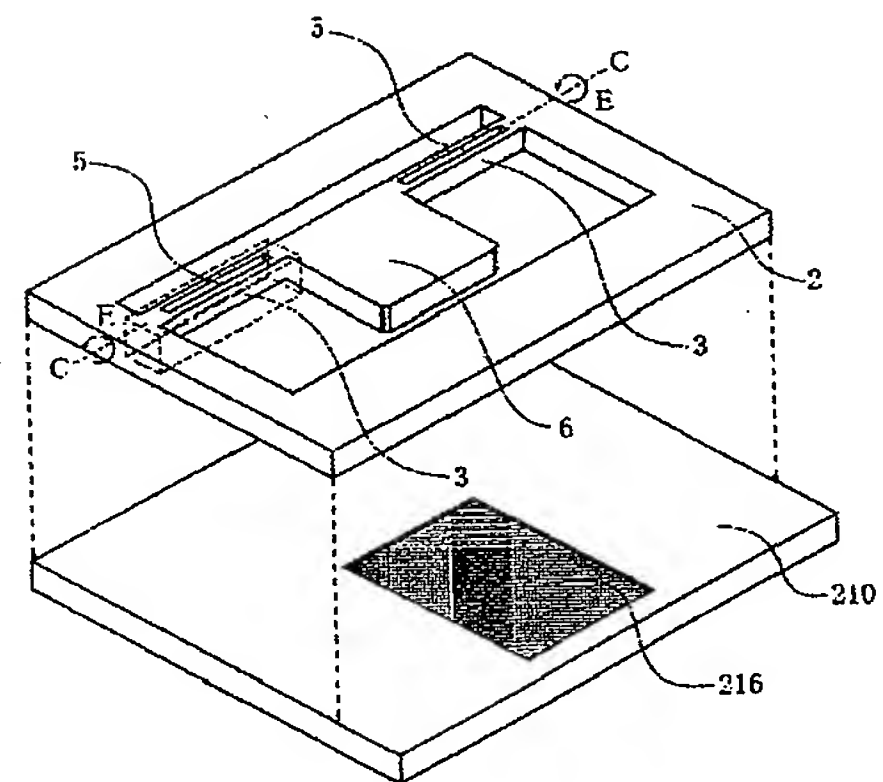
【図 6】



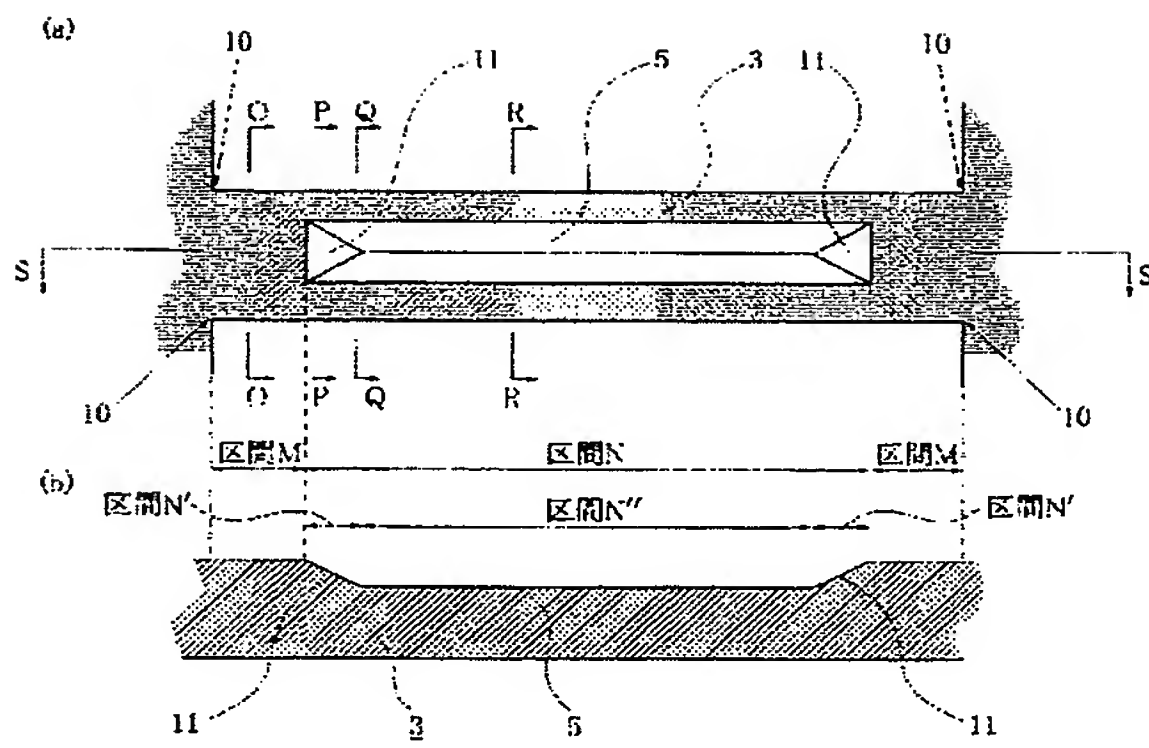
【図 7】



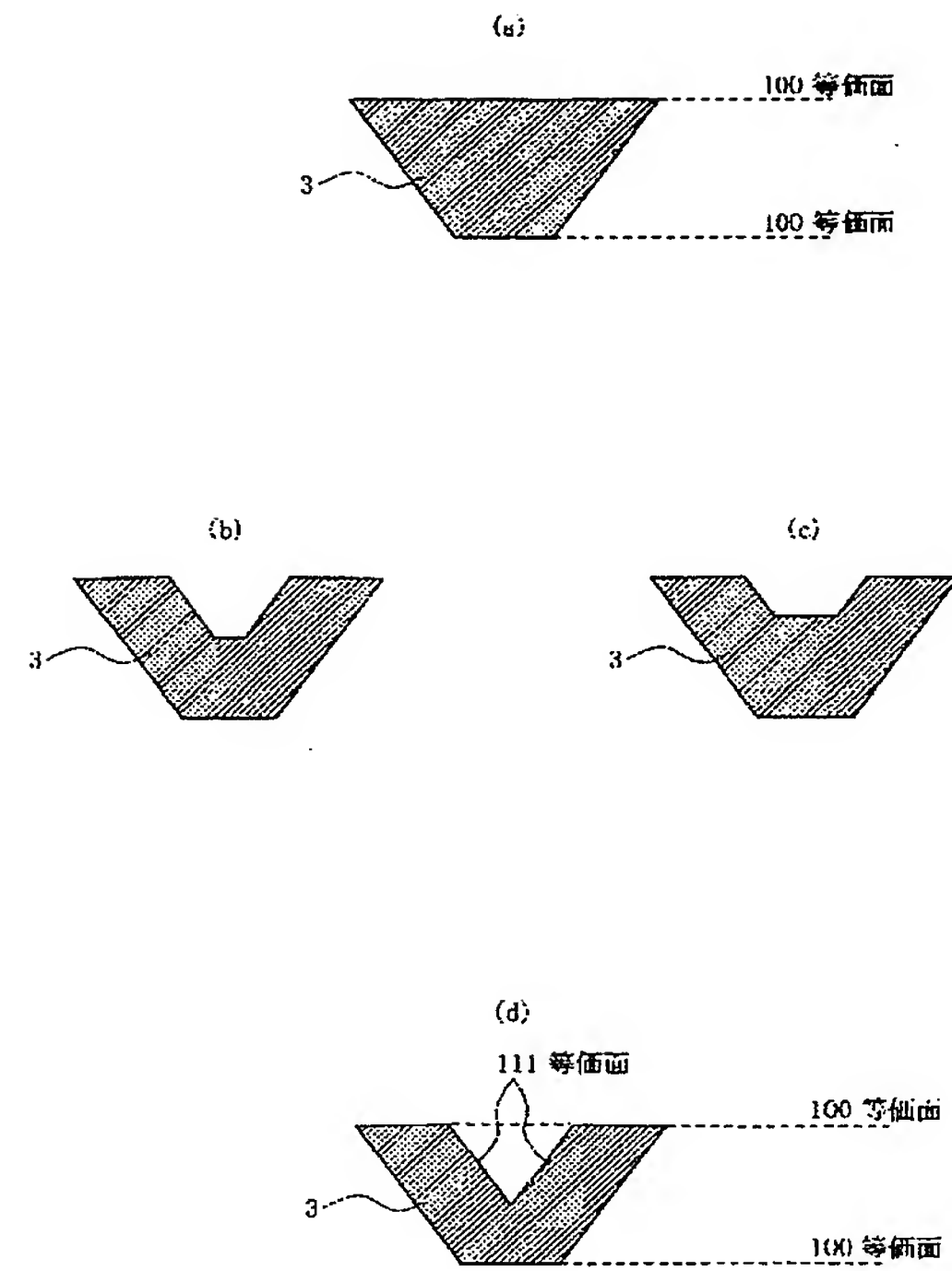
【図 8】



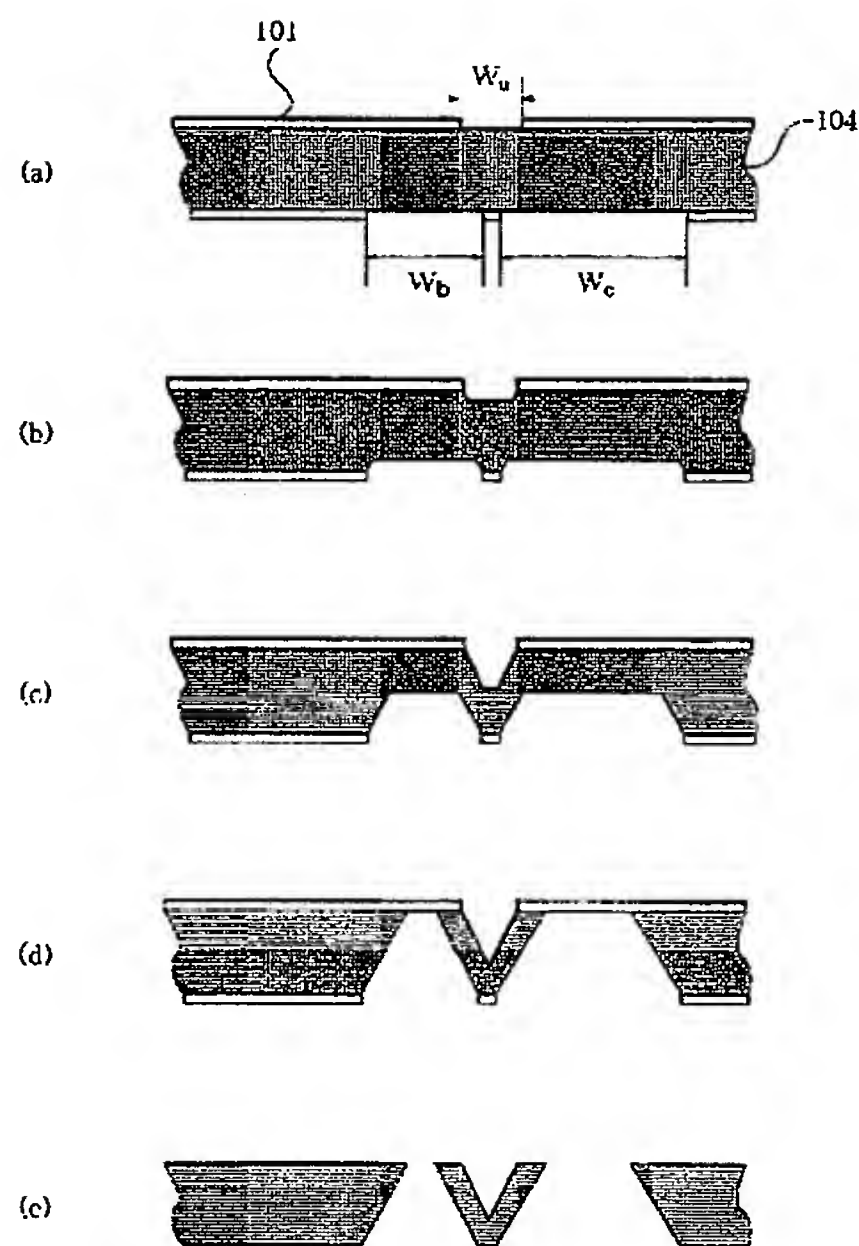
【図 9】



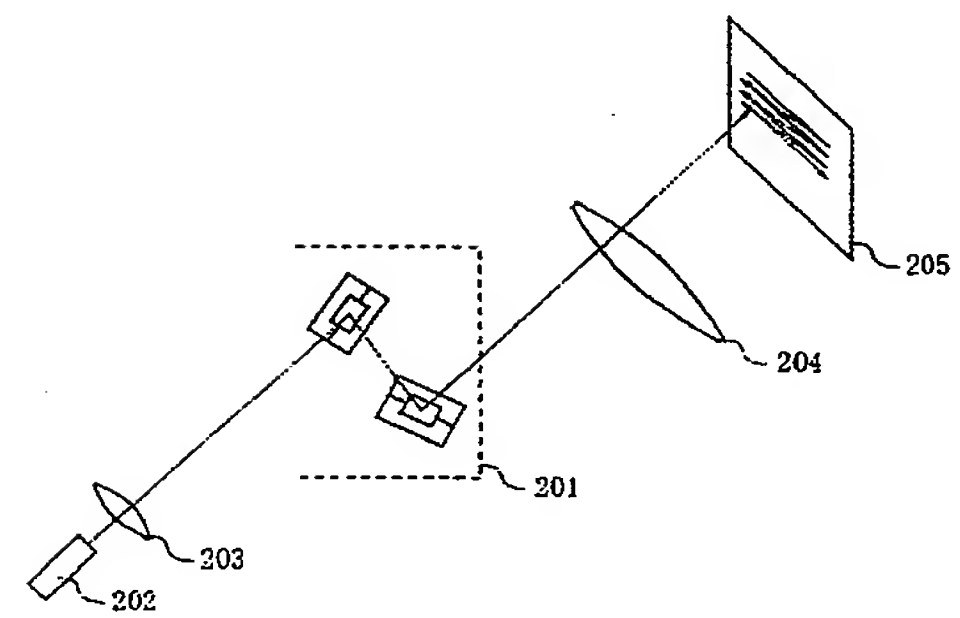
【図 10】



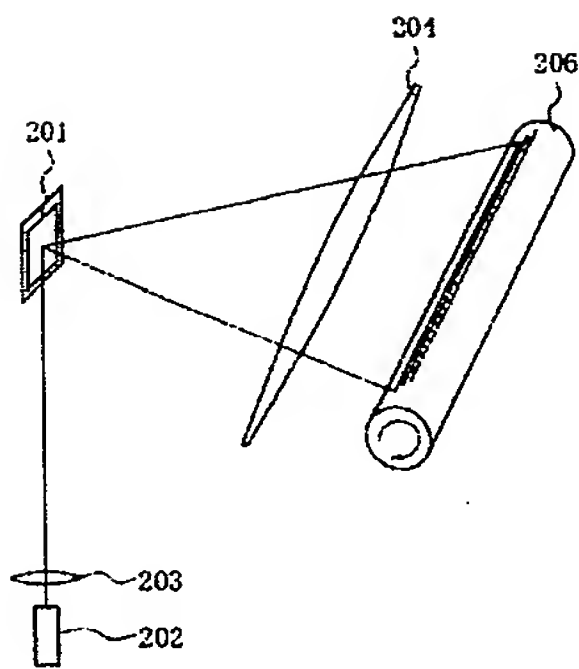
【図 11】



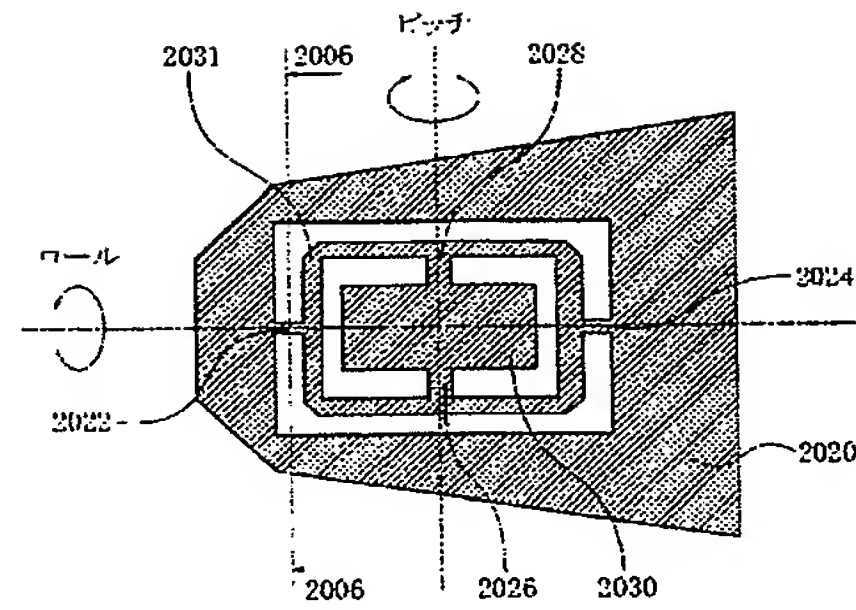
【図 12】



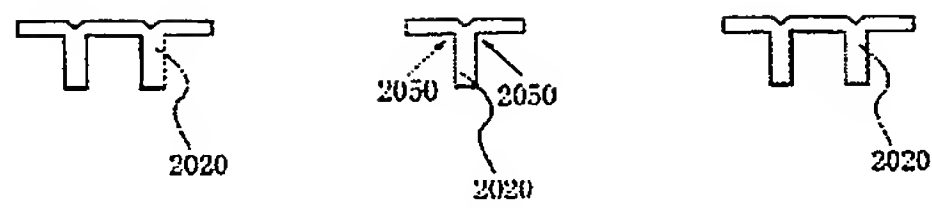
【図 13】



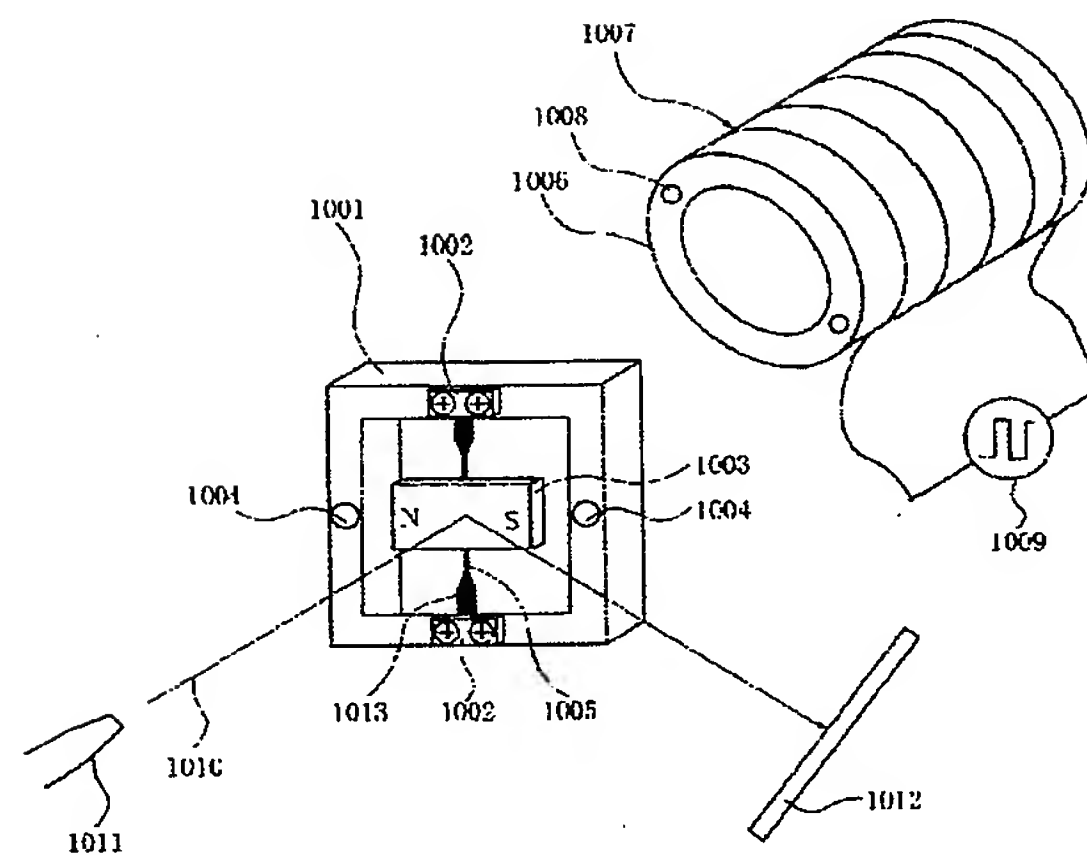
【図 14】



【図 15】



【図 16】





---

フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

F I

テーマコード (参考)

G 0 2 B 26/10 1 0 4 ㊄